

WPLYW ZABURZENIA ŚRODKA MASY NA STATECZNOŚĆ POJAZDU PRZY IMPULSOWYM ZAKŁÓCENIU RUCHU PROSTOLINIOWEGO

JAROSŁAW ZALEWSKI

Streszczenie

Przeprowadzono analizę wpływu zaburzenia położenia środka masy modelu matematycznego samochodu na jego stateczność, przy nagłym zakłóceniu ruchu prostoliniowego przez impulsowy obrót koła kierownicy, oraz losowo występujące nierówności nawierzchni drogi.

Zagadnienie rozważano bazując na definicji stateczności technicznej stochastycznej, analizując prawdopodobieństwo znalezienia się trajektorii pojazdu w określonym obszarze drogi. Podjęto również próbę porównania otrzymanych wyników z definicją stateczności rzeczywistych pojazdów (norma ISO 8855).

Przeprowadzono symulację ruchu modelu pojazdu w środowisku MSC Adams/Car dla trudnych warunków drogowych, przy prędkości 70km/h. Wyniki analiz posłużyć mogą również jako element określający uniwersalność prezentowanej metody.

Słowa kluczowe: stateczność, środek masy samochodu, zakłócenie ruchu

1. Wprowadzenie

Badania nad bezpieczeństwem środków transportu są integralnym elementem analizy bezpieczeństwa ruchu, jako całości. Również elementy związane z bezpieczeństwem ruchu drogowego wydają się być istotne z punktu widzenia użytkowników dróg. Analiza dotycząca bezpieczeństwa i dynamiki środków transportu jest równie ważnym zagadnieniem z punktu widzenia badań naukowych. Badania te można przeprowadzić na rzeczywistych obiektach, co generuje dodatkowe problemy wynikające przede wszystkim z konieczności posiadania zaplecza badawczego, lub używając ich modeli matematycznych, co skraca czas i koszty. Łatwiej jest bowiem przeprowadzić symulację ruchu modelu pojazdu w środowisku wirtualnym, niż organizować rzeczywiste badania terenowe. Problem nie dotyczy oczywiście wszystkich przypadków, jednak omawiane tu zagadnienia z pewnością należą do grupy badań, których realizacja wiąże się z trudnościami. Wśród nich wyróżnić można właściwe obciążenie samochodu tak, aby uzyskać pożądaną położenie środka masy, zamknięty tor, na którym można prowadzić badania (jazda samochodu) oraz odpowiednie warunki drogowe.

Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano pakiet MSCAdams/Car.

2. Stateczność techniczna stochastyczna

Definicję stateczności technicznej stochastycznej podano na podstawie pracy [1]. Dany jest układ równań stochastycznych:

$$\frac{dx}{dt} = f[x, t, \xi(t)] \quad (1)$$

gdzie $x = (x_1, \dots, x_n)$ oraz $f(x, t, y) = (f_1, \dots, f_n)$ są wektorami, natomiast $\xi(t) = (\xi_1, \dots, \xi_n)$, $t \geq 0$ jest procesem stochastycznym, którym opisano losowo występujące zaburzenia. Układem (1) można opisać ruch modelu pojazdu, sprowadzając do takiej postaci klasyczne równania ruchu (oparte o prawa Newtona).

Założono, że funkcja $f(x, t, y)$ jest określona dla każdego $x \in E_n, y \in E_n$ i $t \geq 0$. Przyjęto, że dla procesu stochastycznego $f(0, t, \xi(t))$ zachodzi absolutna całkowalność:

$$P\left\{\int_0^T |f(0, t, \xi(t))| dt < \infty\right\} = 1, \text{ dla każdego } T > 0. \quad (2)$$

Założono także istnienie pewnego procesu stochastycznego $f(X, t, \xi(t))$ spełniającego kryterium Lipschitza w przedziale $[0, T]$

$$|f(x_2, t, \xi(t)) - f(x_1, t, \xi(t))| \leq \eta(t) |x_2 - x_1| \quad (3)$$

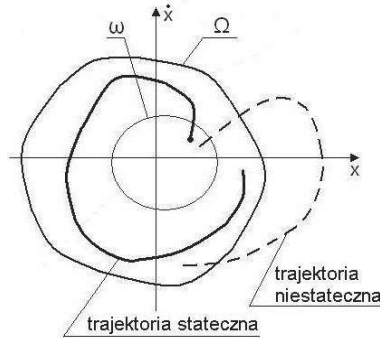
dla innego procesu $\eta(t)$, bezwzględnie całkowalnego w danym przedziale.

Wynikiem powyższych założeń jest istnienie tylko jednego rozwiązania z warunkami początkowymi $t = t_0$ oraz $x(t_0) = x_0$, będącego procesem stochastycznym bezwzględnie ciągłym, z prawdopodobieństwem 1 dla $t \geq t_0$.

Przyjęto dwa obszary w przestrzeni euklidesowej E_n : ω – ograniczony i otwarty, stanowiący obszar warunków początkowych oraz Ω – ograniczony i zamknięty (obszar dopuszczalnych rozwiązań), gdzie $\omega \subset \Omega$. Założono istnienie liczby dodatniej $0 < \varepsilon < 1$ oraz procesu stochastycznego $X(t)$, określonego dla $t \geq t_0$. Oznaczono również warunki początkowe rozwiązania przez $t = t_0$, $x(t_0) = x_0$ oraz samo rozwiązanie przez (t, t_0, x_0) .

Definicja stateczności technicznej stochastycznej: jeśli każde rozwiązanie równania (1), mające warunki początkowe (t, t_0, x_0) w obszarze ω , należy do obszaru Ω z prawdopodobieństwem $1 - \varepsilon$, to układ (1) jest stateczny technicznie stochastycznie względem ω , Ω oraz procesu $\xi(t)$ z prawdopodobieństwem $1 - \varepsilon$ (rys. 1). Definicję tę opisano wzorem (4).

$$P\{(t, t_0, x_0) \in \Omega\} > 1 - \varepsilon, \quad \text{dla } \bar{x}_0 \in \omega \quad (4)$$

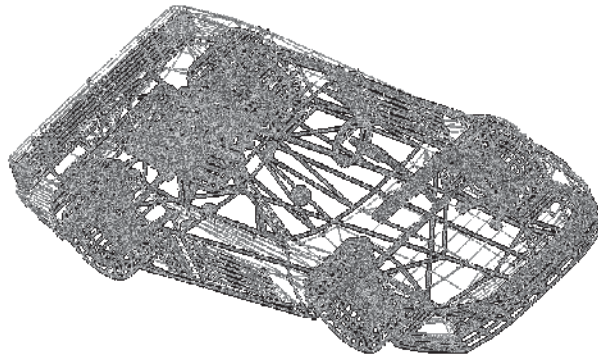


Rys. 1. Graficzna interpretacja stateczności technicznej stochastycznej

Źródło: [4].

2.1. Model matematyczny symulowanego pojazdu

Na rys. 2 przedstawiono model fizyczny symulowanego samochodu sportowego o 90 stopniach swobody [5]. Model stworzono z podsystemów o własnościach dynamicznych zbliżonych do rzeczywistych. W prezentowanym modelu obciążenie reprezentowane jest przez dwie masy odpowiadające kierowcy i pasażerowi (pojazd dwumiejscowy). Ponadto nadwozie obciążono bagażem umieszczonym w jego przedniej części. Zaburzenia geometrii nadwozia zrealizowano jako przesunięcie środka masy względem jego pozycji nominalnej, określonej względem tzw. punktu „origo”, reprezentującego początek układu współrzędnych związanego z drogą, a jednocześnie poruszającego się wraz z pojazdem.



Rys. 2. Widok pełnego modelu fizycznego badanego pojazdu

Źródło: MSC Adams/Car.

Przy założeniu, że bryłę nadwozia można przedstawić jako zbiór prostopadłościanów reprezentujących określone bryły nadwozia, model matematyczny samochodu opisać można jak w pracach [5], [6] czy [8] równaniami ruchu postępowego i obrotowego.

Podstawowe parametry modelu samochodu sportowego w MSC Adams/Car:

– masa nadwozia bez obciążenia $m = 995 \text{ kg}$;

– położenie punktu „origo” względem środka przedniej krawędzi niezaburzonego nadwozia:

$$x_c = 0,9 \text{ m}, y_c = 0, z_c = -0,48 \text{ m}$$

– nominalne współrzędne środka masy względem punktu „origo” nadwozia niezaburzonego:

$$x_c = 1,5 \text{ m}, y_c = 0, z_c = 0,45 \text{ m}$$

– nominalne wartości momentów bezwładności dla nadwozia niezaburzonego względem osi przechodzących przez punkt „origo”:

$$I_{xx} = 401 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, I_{yy} = 2940 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, I_{zz} = 2838 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

– nominalne wartości momentów dewiacji dla nadwozia niezaburzonego względem osi przechodzących przez punkt „origo”:

$$I_{xy} = 0, I_{zx} = 671 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, I_{yz} = 0$$

2.2. Zaburzenia parametrów masowo – bezwładnościowych

Do badania stateczności technicznej stochastycznej w ekstremalnych warunkach ruchu przyjęto zaburzenie położenia środka masy nadwozia wynikające z nierównomiernego obciążenia. Założono, że parametry masowo – bezwładnościowe uległy zmianie.

Dodając masę kierowcy i pasażera oraz bagażu zwiększono masę całego modelu pojazdu. Odległość środków mas obciążających nadwozie od przedniej jego krawędzi pokazano na rys. 3 i 4.

Przyjęto następującą konfigurację obciążenia nadwozia:

– masa kierowcy $m_1 = 75 \text{ kg}$, masa pasażera $m_2 = 105 \text{ kg}$, masa bagażu $m_B = 50 \text{ kg}$.

Na podstawie rys. 3 i 4, oraz wcześniejszych założeń wyznaczono współrzędne środka masy nadwozia., co w efekcie dało następujące wyniki:

– masa całkowita nadwozia $m_N = 1225 \text{ kg}$;

– współrzędne środka masy względem punktu „origo”:

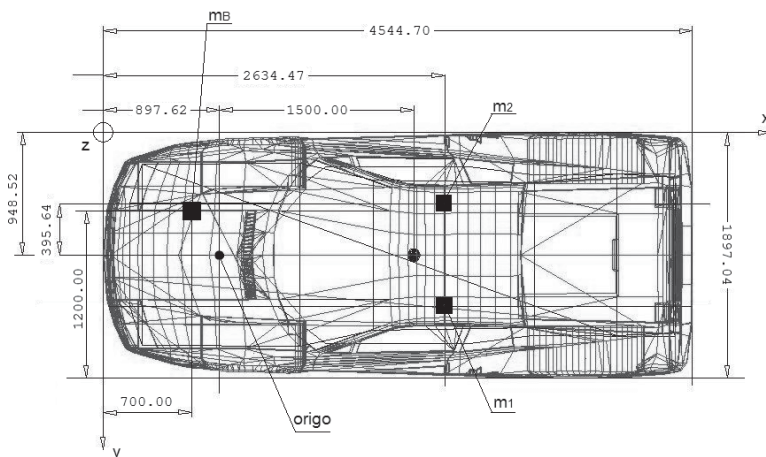
$$x_c = 1,481 \text{ m}, y_c = 0,081 \text{ m}, z_c = 0,454 \text{ m}$$

– wartości momentów bezwładności dla nadwozia zaburzonego względem osi przechodzących przez punkt „origo”:

$$I_{xx} = 461 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, I_{yy} = 3441 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, I_{zz} = 3297 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

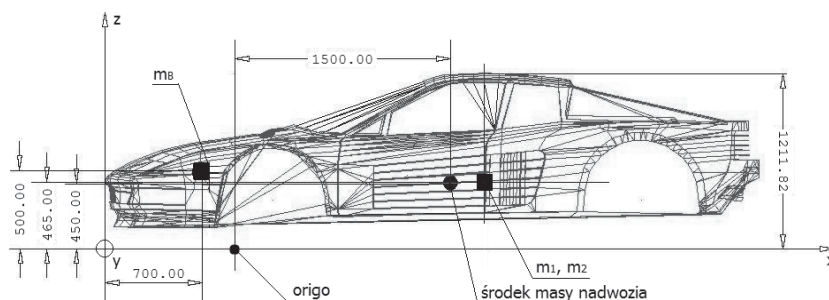
– wartości momentów dewiacji dla nadwozia zaburzonego względem osi przechodzących przez punkt „origo”:

$$I_{xy} = 148 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, I_{zx} = 824 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, I_{yz} = 455 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



Rys. 3. Rzut nadwozia modelu samochodu sportowego z góry

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Rzut nadwozia modelu samochodu sportowego z boku

Źródło: opracowanie własne.

2.3. Zaburzenia pochodzące od nawierzchni drogi

Badanie stateczności technicznej stochastycznej przeprowadzono dla oblodzonej drogi płaskiej oraz dla drogi z losowo występującymi nierównościami nawierzchni, również oblodzonej. Występowanie tych zaburzeń zrealizowano zastępując płaską powierzchnię drogi opisaną plikiem „2d_flat.rdf”, prze plik „2d_stochastic_uneven.rdf” definiującym żądany profil.

W badanym modelu matematycznym samochodu przeprowadzono pewną modyfikację dotyczącą opon. Wykorzystano model opony FTIRE, który, ze względu na losowy charakter nierówności, jest zdolny współpracować z drogą o takiej nawierzchni. Własności modeli opon standardowo przypisanych do analizowanego modelu uniemożliwiają przeprowadzenie symulacji na

profilu nawierzchni o losowych nierównościach, ponieważ długość fali tych nierówności jest mniejsza niż promień koła jezdnego [7].

Model opony FTRIE (ang. flexible tire ring) złożony jest z odkształcalnych paneli połączonych elementami sprężystymi, mogących odkształcać się w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach.

3. Badania symulacyjne stateczności technicznej stochastycznej modelu matematycznego samochodu o nierównomiernym obciążeniu

W celu przeprowadzenia symulacji przyjęto następujące założenia:

– model pojazdu traktowany jest jako ciało quasisztywne, zaś nadwozie jest reprezentowane przez zbiór elementów prostopadłościennych;

– w procesach symulacyjnych wykorzystano model matematyczny samochodu, którego elementy zawieszenia są nieliniowe;

– losowo występujące nierówności nawierzchni drogi opisano procesem stochastycznym stacjonarnym w szerszym sensie i globalnie ergodycznym;

– realizując ruch pojazdu przyjęto układy współrzędnych jak w pracy [4];

– zaburzenie parametrów masowo – bezwładnościowych realizowano poprzez nierównomierne obciążenie pojazdu (p. 3.1);

– zakłócenie ruchu przy prędkości 70km/h zrealizowano poprzez wprowadzenie impulsowego obrotu koła kierownicy o 90° w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Symulacja przeprowadzona została dla dwóch konfiguracji: samochód obciążony kierowcą, pasażerem oraz bagażem na oblodzonej płaskiej nawierzchni drogi, oraz na oblodzonej nawierzchni drogi z losowo występującymi nierównościami.

Wykorzystano manewr tzw. „impulse steer”, czyli odpowiedzi układu na pojedynczy, nagły obrót kołem kierownicy. Symulacja odbyła się na odcinku drogi o długości 107m.

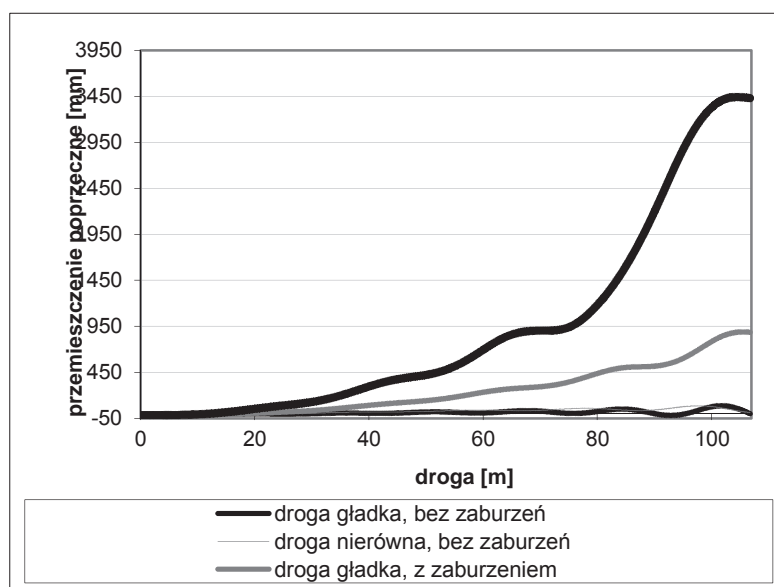
Uzyskano po dwie trajektorie dla każdego z opisywanych warunków ruchu: dla pojazdu z dodatkowo zaburzonym położeniem środka masy, oraz dla pojazdu bez zaburzenia. Każdy zestaw zawiera trajektorię dla manewru na drodze gładkiej oblodzonej oraz na drodze oblodzonej z losowo występującymi nierównościami.

Na rys. 5 pokazano wszystkie cztery trajektorie jako zależność poprzecznego przemieszczenia pojazdu w funkcji przebytej drogi. Zaznaczono na nim również zbiór Ω przestrzeni stanów (zbiór rozwiązań). Zbiór ten zawiera część trajektorii związaną z przedziałem $[s; s+ds]$ dla odcinka drogi od 20 do 100m, dla którego badano niestateczność modelu pojazdu. Omawiany odcinek drogi został podzielony na 40 podprzedziałów, każdy równy 2m.

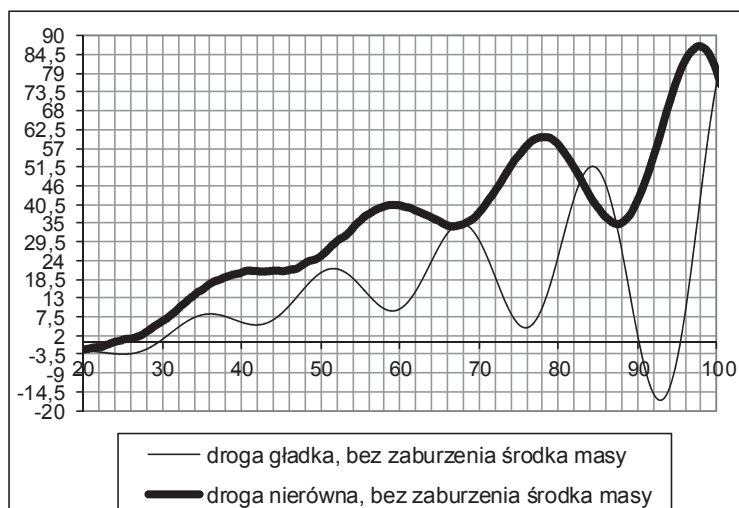
Na rys. 6 pokazano wybrany fragment trajektorii dla ruchu pojazdu z niezaburzonym położeniem środka masy. Odcinek ten na osi przemieszczenia poprzecznego podzielono na 20 klas $[K1; K20]$, co 5,5mm. Zakres ten przypada na część trajektorii, w której model samochodu, po wprowadzeniu impulsowego zakłócenia (obróć kołem kierownicy) usiłuje powrócić do ruchu prostoliniowego.

Na rys. 7 zaprezentowano wycinek trajektorii dla ruchu modelu z zaburzonym, wskutek nierównomiernego obciążenia, położeniem środka masy. Zakres przemieszczenia poprzecznego dla tego fragmentu również podzielono na 20 klas $[K1; K20]$ z tym, że co 170mm.

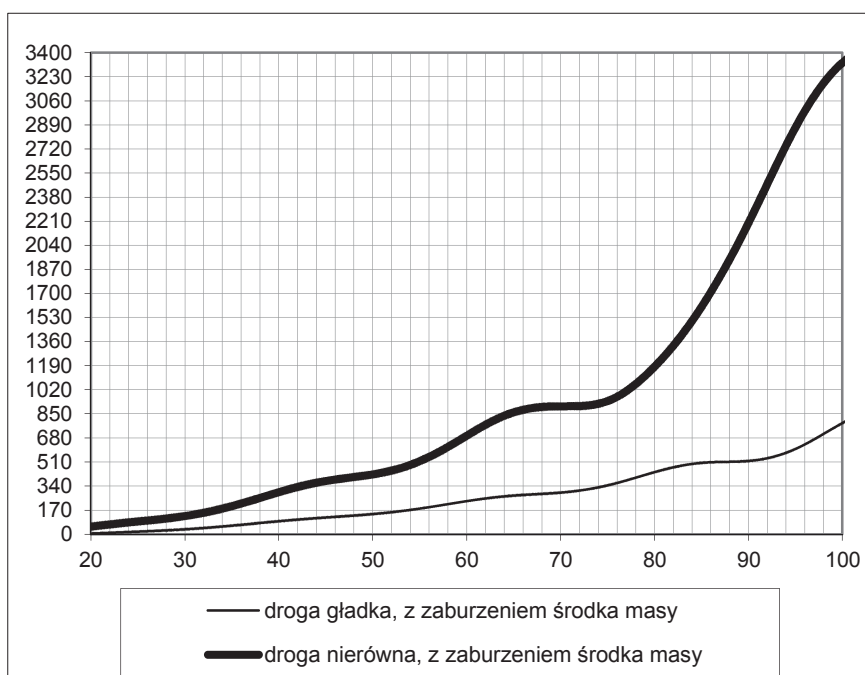
Następnie zbadano częstotści przebywania rozwiązania w każdej klasie.



Rys. 5. Zbiór Ω przestrzeni stanów, zawierający część trajektorii dla przedziału $[s; s+ds]$
 Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Fragment obu trajektorii z rys. 5, dla drogi gładkiej z podziałem na klasy $[K1; K20]$
 Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Fragment obu trajektorii z rys. 5 dla drogi nierównej z podziałem na klasy [K1; K20]

Źródło: opracowanie własne.

4. Analiza otrzymanych rezultatów

Wyznaczono częstości zdarzeń, czyli przebywanie rozwiązania w określonej klasie zbioru dopuszczalnych rozwiązań Ω . W każdym kolejnym kroku przedziału $[s; s+ds]$ zbadano częstości zdarzeń występowania rozwiązania w danej klasie, przy czym za pracą [8] przyjęto drogę jako zbiór określoności układu (5).

$$W(K_j) = \frac{N_{K_j}}{N} \quad (5)$$

gdzie:

- W_{K_j} – częstość przebywania rozwiązania w danej klasie;
- N_{K_j} – ilość podprzedziałów, dla których rozwiązanie przebywa w danej klasie;
- N – ilość wszystkich podprzedziałów.

Otrzymane wartości częstości zdarzeń przedstawiono w tab. 1. Celem obliczeń było porównanie częstości występowania rozwiązania (trajektorii) w każdej z przyjętych klas.

Tab. 1. Częstości przebywania rozwiązań w każdej klasie dla obu przypadków z rys. 6 i 7

Klasa	bez zaburzenia środka masy				z zaburzeniem środka masy			
	droga gładka		droga nierówna		droga gładka		droga nierówna	
	N_{Kj}	W_{Kj}	N_{Kj}	W_{Kj}	N_{Kj}	W_{Kj}	N_{Kj}	W_{Kj}
1	1	0,025	0	0,000	16	0,400	6	0,150
2	1	0,025	0	0,000	11	0,275	5	0,125
3	0	0,000	0	0,000	5	0,125	6	0,150
4	6	0,150	3	0,075	6	0,150	2	0,050
5	7	0,175	2	0,050	2	0,050	3	0,075
6	7	0,175	1	0,025	0	0,000	6	0,150
7	3	0,075	2	0,050	0	0,000	2	0,050
8	4	0,100	6	0,150	0	0,000	1	0,025
9	3	0,075	1	0,025	0	0,000	1	0,025
10	3	0,075	4	0,100	0	0,000	0	0,000
11	0	0,000	8	0,200	0	0,000	1	0,025
12	3	0,075	3	0,075	0	0,000	1	0,025
13	1	0,025	1	0,025	0	0,000	0	0,000
14	0	0,000	2	0,050	0	0,000	1	0,025
15	0	0,000	3	0,075	0	0,000	1	0,025
16	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
17	0	0,000	1	0,025	0	0,000	1	0,025
18	1	0,025	0	0,000	0	0,000	1	0,025
19	0	0,000	2	0,050	0	0,000	1	0,025
20	0	0,000	1	0,025	0	0,000	1	0,025

Źródło: opracowanie własne.

5. Wyniki badań stateczności technicznej stochastycznej modelu matematycznego samochodu

Badania stateczności technicznej stochastycznej modelu samochodu dokonano porównując trajektorie ruchu oraz częstości zdarzeń występowania rozwiązania w określonym wycinku obszaru drogi.

Jeśli zgodnie z rys. 6 i 7 obszar, w którym może znajdować się trajektoria podzielić na 20 równych przedziałów, to dla odcinka $[s; s+ds]$ można zaobserwować wpływ warunków drogowych i obciążenia pojazdu na jej przebieg. Dla tak przyjętych warunków trajektorie po ominięciu przeszkody mieszczą się w obszarze Ω . Za obszar ten można przyjąć np. szerokość dwóch pasów ruchu, przy czym należy uwzględnić, że trajektorie zostały wyznaczone dla środka masy układu sztywnego. Należy zatem dodać szerokość pasów ruchu obejmującą szerokość pojazdu. Jeżeli natomiast zawężonoby obszar Ω do ok. 3m (jeden pas ruchu), to ruch pojazdu z zaburzonym położeniem środka masy na drodze nierównej (rys. 7) mógłby zostać uznany za niestateczny.

Maksymalne wartości amplitud trajektorii samochodu bez i z zaburzeniami położenia środka masy są, w pobliżu granicy stateczności. Jedynie dla ruchu na nierównej nawierzchni drogi i przy nierównomiernym obciążeniu trajektoria wykracza poza przyjęty obszar stateczności. Sposób określania obszaru stateczności dla manewru podwójnej zmiany pasa ruchu został opisany w pracy [8].

W tab. 1 pokazano zestawienie obliczeń dla ruchu na nawierzchni oblodzonej. Istotne różnice dla ruchu pojazdu bez zaburzonego położenia środka masy występują w klasach:

- 4 – odpowiednio 0,15 na drodze gładkiej i 0,075 na nierównej;
- 5 – odpowiednio 0,175 na drodze gładkiej i 0,05 na nierównej;
- 6 – odpowiednio 0,175 na drodze gładkiej i 0,025 na nierównej;
- 11 – odpowiednio 0 na drodze gładkiej i 0,2 na nierównej;

Dla ruchu pojazdu z zaburzonym środkiem masy:

- 1 – odpowiednio 0,4 na drodze gładkiej i 0,15 na nierównej;
- 2 – odpowiednio 0,275 na drodze gładkiej i 0,125 na nierównej;
- 6 – odpowiednio 0 na drodze gładkiej i 0,15 na nierównej.

Maksymalna wielkość amplitudy trajektorii samochodu na drodze gładkiej dla klasy 20 jest w obu przypadkach równa zero, natomiast na drodze nierównej wynosi 0,1.

Zaburzenie położenia środka masy w połączeniu z ekstremalnymi warunkami drogowymi istotnie wpływa zatem zarówno na maksymalne wielkości amplitud trajektorii, jak i na częstości zdarzeń występowania rozwiązania w klasach dla dużych amplitud trajektorii.

6. Porównanie stateczności modeli matematycznych ze statecznością obiektów rzeczywistych

Pojęcia stateczności samochodu dla analizy ruchu obiektu rzeczywistego zostały przedstawione w normie ISO 8855:1991. W normie tej stan ustalony określono jako stan pojazdu, w którym suma przyłożonych zewnętrznych sił i momentów, a także równoważących je sił bezwładności i momentów tworzy układ niezmienny. Stan przejściowy opisany został jako inne stany niż opisany powyżej.

Podane normie definicje można porównać ze statecznością zdefiniowaną, dla modelu matematycznego. Biorąc pod uwagę charakter odpowiedzi układu na wymuszenie można wyciągnąć z porównania definicji następujące wnioski.

Otrzymane rozwiązania, z których rozwiązanie dla modelu bez zaburzeń położenia środka masy można uznać za wyjściowe, lub stan ustalony, można porównać z definicjami stateczności obojętnej pod warunkiem, że przyjęte zaburzenia będą mieć małe wartości, a dodatkowe wymuszenie obrotem koła kierownicy nie spowoduje wzmocnienia odpowiedzi modelu. Ma to miejsce dla trajektorii modelu bez zaburzeń położenia środka masy. W przypadku nierównomiernego jej rozkładu można mówić o niestateczności nieokresowej dla rzeczywistych pojazdów (wzmocnienie odpowiedzi układu).

Nie można natomiast odnieść otrzymanych rozwiązań ani do stateczności okresowej, ani do oscylacyjnej ze względu na charakter ich wzajemnego przebiegu.

7. Wnioski

Celem pracy było pokazanie wybranych aspektów dotyczących bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Na podstawie symulacji ruchu pojazdu z niezaburzonym i zaburzonym położeniem środka masy w programie Adams/Car otrzymano trajektorie ruchu w dwóch różnych warunkach drogowych, ale przy nawierzchni oblodzonej. Wykazano, że niewielkie na pozór zaburzenie położenia środka masy ma tym większy wpływ na stateczność techniczną stochastyczną ruchu samochodu, im trudniejsze panują warunki drogowe, z punktu widzenia jakości nawierzchni. Ponadto krzywe te posłużyły do odniesienia się do stateczności samochodów wg normy ISO 8855:1991.

W zakres dalszych badań może wejść prowadzenie analiz związanych dodatkowo z warunkami atmosferycznymi w szerszym aspekcie (droga sucha i mokra), oraz z zaburzeniami wynikłymi np. z niepoprawnej geometrii elementów zawieszenia modelu pojazdu.

Bibliografia

1. Bogusz W., *Stateczność techniczna*, Warszawa 1972, PWN.
2. Kisilowski J., Kardas-Cinal E., *On a Certain Method of Examining Stability of Mathematical Models of railway Vehicles with Disturbances Occurring in Real Objects*, VSD Supplement to vol. 23, Proceedings of 13th IAVSD Symposium held in Chengdu, Sichuan, P. R. China, August 23 – 27, 1993.
3. Kisilowski J., Choromański W., Łopata H., *Investigation of Technical Stochastic Stability of Lateral Vibrations of Mathematical Model of Rail Vehicle*, Engineering Transactions, Polish Academy of Sciences – IPPT, Vol.33, Warsaw 1985.
4. Kisilowski J., Zalewski J., *On a certain possibility of practical application of stochastic technical stability*, Eksploatacja i niezawodność, Maintenance and Reliability, 1(37)/2008.
5. Nabagło T., *Synteza układu sterowania semiaktywnego zawieszenia samochodu podzespołów elementami magnetoreologicznymi*, Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2006.
6. Ng Luke, *Reinforcement learning of dynamic collaborative driving*, Doctoral thesis, Waterloo, Ontario, Canada 2008.
7. Using Adams, MSC Software Corporation.
8. Zalewski J., *Modelowanie wpływu zaburzeń geometrii nadwozia na stateczność ruchu pojazdu samochodowego*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2011.

INFLUENCE OF THE CENTER OF MASS DISTURBANCE ON THE STABILITY OF A VEHICLE AFTER THE IMPULSE DISRUPTION OF ITS STRAIGHT-LINE MOTION

Summary

Analysis of the influence of the center of mass disturbance on the stability of a motor vehicle mathematical model was prepared, at a sudden disruption of its straight-line motion by the impulse rotation of the steering wheel, as well as randomly occurring unevenness of the road surface.

The issue was considered basing on the definition of the stochastic technical stability, analysing the probability of the vehicle trajectory remaining in a particular area of the road. Attempt was also made to compare the obtained results with the definition of stability for the real vehicles (ISO 8855).

Simulation was conducted for the vehicle model in MSC Adams/Car software for difficult road conditions, at the speed of 70km/h The results can also be used as a component qualifying the versatility of the presented method.

Keywords: stability, the center of mass of a motor vehicle, motion disruption

Jarosław Zalewski
Wydział Administracji i Nauk Społecznych
Politechnika Warszawska
Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa
e-mail: j.zalewski@ans.pw.edu.pl